

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-230054

(43)Date of publication of application : 16.08.2002

(51)Int.Cl.

G06F 17/50

(21)Application number : 2001-025023

(71)Applicant : INST OF PHYSICAL & CHEMICAL  
RES

(22)Date of filing : 01.02.2001

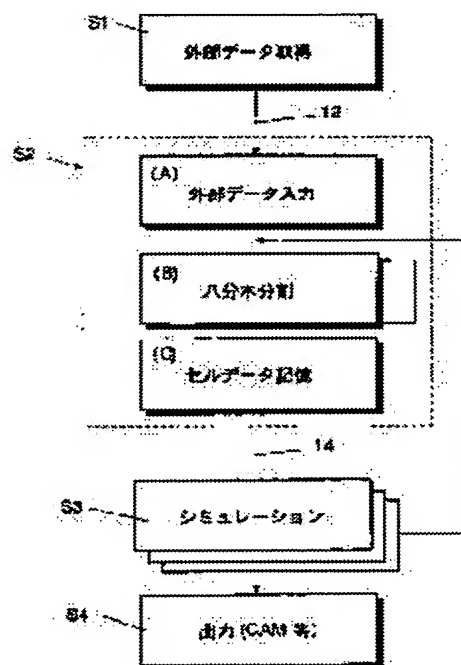
(72)Inventor : KASE KIWAMU  
TASHIRO HIDEO  
HIMENO RYUTARO  
MAKINOUCHI AKITAKE

## (54) METHOD FOR STORING SUBSTANCE DATA OBTAINED BY INTEGRATING SHAPE AND PHYSICAL PROPERTY

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for storing substance data obtained by integrating the shape and physical property of an object with a small storage capacity, and for performing the unitary management of the shape, structure, solidity information, and history of the object, and for managing data related with a series of processes ranging from the design to the working, assembly, test, and evaluation with the same data, and for realizing the unitary management of CAD and simulation.

SOLUTION: This method comprises an outside data input step (A) for inputting outside data 12 constituted of the boundary data of an object 1, an octant tree division step (B) for dividing the outside data into stereoscopic cells 13 whose boundary planes are orthogonally crossing by octant tree division, and a cell data storage step (C) for storing various solidity values for each cell. Also, each divided cell 13 is divided into an inside cell 13a positioned inside the object or space and a boundary cell 13b including the boundary face in the octant tree division step (B).



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 06.03.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 04.06.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3468464

[Date of registration] 05.09.2003

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2003-12296

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 01.07.2003

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

THIS PAGE BLANK (CONT.)

(19)日本国特許庁 ( J P )

(12) 公 開 特 許 公 報 ( A )

(11)特許出願公開番号

特開2002-230054

(P2002-230054A)

(43)公開日 平成14年 8 月16日 (2002. 8. 16)

|                          |       |               |                   |
|--------------------------|-------|---------------|-------------------|
| (51)Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号  | F I           | テ-マコ-ト*(参考)       |
| G 0 6 F 17/50            | 6 1 4 | G 0 6 F 17/50 | 6 1 4 Z 5 B 0 4 6 |
|                          | 6 1 2 |               | 6 1 2 J           |

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 12 頁)

|          |                            |         |   |
|----------|----------------------------|---------|---|
| (21)出願番号 | 特願2001-25023(P2001-25023)  | (71)出願人 | 000006792<br>理化学研究所<br>埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 |
| (22)出願日  | 平成13年 2 月 1 日 (2001. 2. 1) | (72)発明者 | 加瀬 究<br>埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 理化学研究所<br>内    |
|          |                            | (72)発明者 | 田代 英夫<br>埼玉県和光市広沢 2 番 1 号 理化学研究所<br>内   |
|          |                            | (74)代理人 | 100097515<br>弁理士 堀田 実                   |

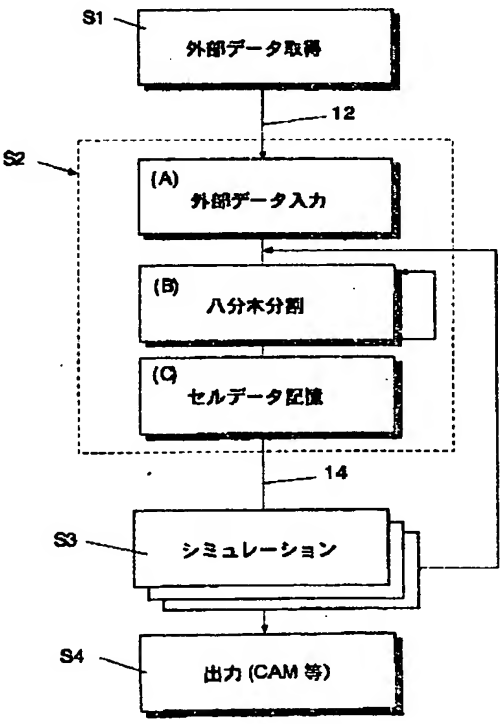
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 形状と物性を統合した実体データの記憶方法

(57)【要約】

【課題】 形状と物性を統合した実体データを小さい記憶容量で記憶することができ、これにより、物体の形状・構造・物性情報・履歴を一元的に管理し、設計から加工、組立、試験、評価など一連の工程に関わるデータを同じデータで管理することができ、C A Dとシミュレーションを一元化することできる実体データの記憶方法を提供する。

【解決手段】 対象物 1 の境界データからなる外部データ 1 2 を入力する外部データ入力ステップ ( A ) と、外部データを八分木分割により境界平面が直交する立方体のセル 1 3 に分割する八分木分割ステップ ( B ) と、各セル毎に種々の物性値を記憶するセルデータ記憶ステップ ( C ) とを備える。また八分木分割ステップ ( B ) において、分割された各セル 1 3 を対象物又は空間の内側に位置する内部セル 1 3 a と境界面を含む境界セル 1 3 b とに区分する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 対象物(1)の境界データからなる外部データ(12)を入力する外部データ入力ステップ(A)と、前記外部データを八分木分割により境界平面が直交する立方体のセル(13)に分割する八分木分割ステップ(B)と、各セル毎に種々の物性値を記憶するセルデータ記憶ステップ(C)とを備える、ことを特徴とする形状と物性を統合した実体データの記憶方法。

【請求項2】 前記八分木分割ステップ(B)において、分割された各セルを対象物又は空間の内側に位置する内部セル(13a)と境界面を含む境界セル(13b)とに区分する、ことを特徴とする請求項1に記載の形状と物性を統合した実体データの記憶方法。

【請求項3】 前記境界セル(13b)は、外部データに含まれる境界面を構成する境界形状要素が再構成できる十分な切断点を得られるまで、八分木分割により再分割する、ことを特徴とする請求項2に記載の形状と物性を統合した実体データの記憶方法。

【請求項4】 前記内部セル(13a)は、属性として1種の物性値を持ち、境界セル(13b)は、対象物の内側と外側の2種の物性値をもつ、ことを特徴とする請求項2に記載の形状と物性を統合した実体データの記憶方法。

【請求項5】 前記物性値は、シミュレーションにより変化しない定数値と、シミュレーションの結果で変化する変数値とからなる、ことを特徴とする請求項1に記載の形状と物性を統合した実体データの記憶方法。

【請求項6】 前記外部データ(12)は、多面体を表すポリゴンデータ、有限要素法用の四面体又は六面体要素、3次元CAD又はCGツール用の曲面データ、或いはその他の立体の表面を部分的な平面や曲面で構成された情報で表現するデータである、ことを特徴とする請求項1に記載の形状と物性を統合した実体データの記憶方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、形状と物性を統合した実体データを小さい記憶容量で記憶し、CADとシミュレーションを一元化することできる実体データの記憶方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】先端的な研究開発・技術開発の現場では、その高度化・複雑化に伴い、膨大な試行錯誤が不可欠となっており、開発途中でのリスクが高まっている。科学技術立国を目指す我が国として、これらのリスクを極力排し、開発過程の革新的な高度化・効率化を図ることが極めて重要である。

【0003】現在、研究開発・技術開発の現場において、CAD(Computer Aided Design)、CAM(Computer Aided Ma

nufacturing)、CAE(Computer Aided Engineering)、CAT(Computer Aided Testing)などが、それぞれ設計、加工、解析、試験のシミュレーション手段として用いられている。また、これらを発展させた、C-Simulation(Cooperative Simulation)、A-CAM(Advanced CAM)、D-fabrication(Deterministic fabrication)なども、広く用いられている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来のシミュレーション手段では、対象物を、CSG(Constructive Solid Geometry)やB-rep(Boundary Representation)でデータを記憶している。

【0005】しかし、CSGでは、対象物全体を微細なソリッドモデルの集合体として記憶するため、データが重くシミュレーション手段(ソフトウェア等)を実装する場合、膨大なデータを扱うこととなり、大型コンピュータを用いた場合でも解析に時間がかかる問題点があった。

【0006】また、B-repでは、対象物を境界で表現するため、データは軽く、データ量は小さくなるが、境界面の内部は一様に扱うため、変形解析等には適さない問題点があった。

【0007】更に、これらの従来のデータ記憶手段では、熱・流体解析、固体の大変形解析、これらの連成解析等でその都度、解析に適したメッシュ等に分割して、有限要素法等を適用するため、その解析結果を表示等是可以するが、CADとシミュレーションを一元化することが困難であり、設計・解析・加工・組立・試験等の各工程を同じデータで管理することができない問題点があった。

【0008】言い換えれば、現状のSolid/Surface-CAD(略して、S-CAD)には、以下の問題点があった。

(1)データが渡らない、内部での変換操作に弱い(数値誤差と処理手法の問題)。

(2)シミュレーションに直接使えない(内部情報をもっていないのでメッシュを生成しなくてはいけない)。

(3)CAMによる加工の検討ができない(最終形状しかもっていない)。

【0009】また加工においても以下の問題点があった。

(1)加工プロセスの表現ができない(荒加工や工程設計の支援が不十分)。

(2)レーザー加工や超先端加工など新しい加工法に対応できていない(切削しきれない、数値精度が足りない)。

(3)加工法自体の選択ができない(複合体で内部に異

なる材料特性を有する)。

【0010】本発明は、かかる問題点を解決するために創案されたものである。すなわち、本発明の目的は、形状と物性を統合した実体データを小さい記憶容量で記憶することができ、これにより、物体の形状・構造・物性情報・履歴を一元的に管理し、設計から加工、組立、試験、評価など一連の工程に関わるデータを同じデータで管理することができ、CADとシミュレーションを一元化することできる実体データの記憶方法を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、対象物(1)の境界データからなる外部データ(12)を入力する外部データ入力ステップ(A)と、前記外部データを八分木分割により境界平面が直交する立方体のセル(13)に分割する八分木分割ステップ(B)と、各セル毎に種々の物性値を記憶するセルデータ記憶ステップ(C)とを備える、ことを特徴とする形状と物性を統合した実体データの記憶方法が提供される。

【0012】本発明の好ましい実施形態によれば、前記八分木分割ステップ(B)において、分割された各セルを対象物又は空間の内側に位置する内部セル(13a)と、境界面を含む境界セル(13b)とに区分する。

【0013】また、前記境界セル(13b)は、外部データに含まれる境界面を構成する境界形状要素が再構成できる十分な切断点が得られるまで、八分木分割により再分割する。

【0014】更に、前記内部セル(13a)は、属性として1種の物性値を持ち、境界セル(13b)は、対象物の内側と外側の2種の物性値をもつ。

【0015】また、前記物性値は、シミュレーションにより変化しない定数値と、シミュレーションの結果で変化する変数値とからなる。

【0016】また、前記外部データ(12)は、多面体を表すポリゴンデータ、有限要素法用の四面体又は六面体要素、3次元CAD又はCGツール用の曲面データ、或いはその他の立体の表面を部分的な平面や曲面で構成された情報で表現するデータである。

【0017】上述した本発明の方法によれば、対象物(1)の外部データ(12)を八分木分割により境界平面が直交する立方体のセル(13)に分割したセルの階層として小さい記憶容量で外部データ(12)を記憶することができる。また、各セルがその属性として種々の物性値を記憶しているので、物体の形状・構造・物性情報・履歴を一元的に管理し、設計から加工、組立、試験、評価など一連の工程に関わるデータを同じデータで管理することができ、CADとシミュレーションを一元化することできる。すなわち本発明では、もの(対象物)を形だけでなく物理的な属性も含めて記憶し表現できるので、その階層データをプラットフォームとして、

高度シミュレーション技術、人とのインターフェース技術などを構築することができる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好ましい実施形態を図面を参照して説明する。図1は、本発明の実体データ記憶方法のフロー図である。この図に示すように、本発明の方法は、外部データ入力ステップ(A)、八分木分割ステップ(B)、及びセルデータ記憶ステップ(C)からなる。外部データ入力ステップ(A)では、外部データ取得ステップS1で取得した対象物1の境界データからなる外部データ12を本発明の方法を記憶したコンピュータ等に入力する。八分木分割ステップ(B)では、外部データ12を八分木分割により境界平面が直交する立方体のセル13に分割する。セルデータ記憶ステップ(C)では、各セル毎に種々の物性値を記憶する。なお、以下本発明の方法によるデータを「V-CADデータ」と呼び、このデータを用いた設計やシミュレーションを「ボリュウムCAD」又は「V-CAD」と呼ぶ。

【0019】図1に示すように、本発明の方法を構成するステップS2では、必要に応じて八分木分割ステップ(B)を繰り返す。また、V-CADデータ14を用いて、例えば、設計・解析・加工・組立・試験等のシミュレーションをステップS3で順次行い、これを出力ステップS4(例えばCAM)に出力するのがよい。

【0020】外部から入力する外部データ12は、多面体を表すポリゴンデータ、有限要素法に用いる四面体又は六面体要素、3次元CAD又はCGツールに用いる曲面データ、或いはその他の立体の表面を部分的な平面や曲面で構成された情報で表現するデータである。外部データ12は、このようなデータ(S-CADデータと呼ぶ)のほかに、(1)V-CAD独自のインターフェース(V-interface)により人間の入力により直接作成されたデータと、(2)測定機やセンサ、デジタイザなどの表面のデジタイズデータや、(3)CTスキャンやMRI、および一般的にVolumeレンダリングに用いられているボクセルデータなどの内部情報をもつVolumeデータであってもよい。

【0021】図2は、本発明の方法におけるデータ構造の説明図である。上述した八分木分割ステップ(B)では、修正された八分木(オクトリー、Octree)による空間分割を行う。オクトリー表現、すなわち八分木による空間分割とは、目的の立体(対象物)を含む、基準となる立方体13を8分割し(A)、それぞれの領域の中に立体が完全に含まれるか、含まれなくなるまで再帰的に8分割処理を(B)(C)(D)のように繰り返す。この八分木分割によりボクセル表現よりも大幅にデータ量を減らすことができる。

【0022】八分木による空間分割により分割された一つの空間領域をセル13とよぶ。セルは境界平面が直交

する立方体である。セルによる階層構造、分割数もしくは分解能によって空間中に占める領域を表現する。これにより空間全体の中で対象は大きさの異なるセルを積み重ねたものとして表現される。すなわち、八分木分割ステップ(B)では、外部データ12から境界と内部の物性を以下の実体データ14(V-CADデータ)に変換する。境界データは、厳密に(たとえば、平面であれば含まれる3点で厳密に再構成できる)、もしくは指定した許容差(位置、接線、法線、曲率およびそれらの隣接部分との接続性に対して指定された閾値)内に平面又は2次曲面などを用いて近似する。

【0023】図3は、補間曲面の例である。補間曲面の特別な場合がMarching Cube法によってえられた平面である。本発明では、必ず稜線上の切断点で表現できるまで、法線や主曲率および連続性を満たすまで再分割する。また、2次曲面までを厳密表現、自由曲面は平面もしくは2次曲面によるセル内曲面で近似、これにより幾何固有量のみを保存する。

【0024】図4は、本発明による分割方法を二次元で示す模式図である。本発明では、上述した八分木分割ステップ(B)において、分割された各セル13を対象物又は空間の内側に位置する内部セル13aと、境界面を含む境界セル13bとに区分する。すなわち本発明では境界セルを13b表現するために修正された八分木を使い、完全に内部に含まれるものはその最大の大きさをもつ内部セル13a(立方体)により構成され、外部データ12からの境界情報を含むセルは境界セル13bとして構成している。各境界セル13bは3次元では12本、2次元では4本の稜線上の切断点15(図中に白丸で示す)により厳密に、もしくは近似的に置き換えられる。

【0025】外部データ12に含まれる境界を構成する境界形状要素(平面、2次曲面などの解析曲面にたいしては厳密に、その他の自由曲面や離散点群で表現される境界形状要素については近似的に)が再構成できる十分な切断点15が得られるまで、境界セル13bは八分木分割される。例えば一つの線分ならばその上にある2点がセルの稜線上の切断点15となるまで、平面であれば3点が切断点となるまで、2次曲線であれば3点が、2次曲面であれば4点、以下多項式曲面、有理式曲面のそれぞれに対し、外部データの表現式が既知の場合は必要十分の点とセルの稜線がその定義されている範囲の間で見つかるまで空間を階層的に八分割してゆく。すなわち、再分割する箇所は、境界(表面)部分で指定分解能を満たすまで、或いは各セルが持つ解析結果の値(応力、ひずみ、圧力、流速など)の変化率が指定閾値を超えなくなるまで行う。

【0026】また、複数の境界形状要素を含む境界セル13bの角点16(図中に黒丸で示す)についてはその内部の境界を、隣接する境界セル(再構成に十分な切断

点を有し、完全に境界要素が横断するまで分割されている)が保有する切断点15で表現される境界の交線として間接的に表現できるので必要以上に分割しない。

【0027】従って、V-CADデータ14は、セル内部に蓄えられる形状に関する情報として、セルの位置を表す指標、階層における詳細度をあらわす分割数または分解能、隣接セルを表すポインタ、切断点の数と座標値など、および用途に応じて、法線や曲率等となる。また、V-CADとしては最下層ではEuler的に節点情報や結果の値を保持する。再分割の際の最小分解能がなるべく大きくなるように、境界の位置、法線、接線の連続性および曲率のそれぞれ連続性に関する閾値(許容差)の決め方を定義する。

【0028】図5は、本発明の各セルの属性を示す模式図である。上述した内部セル13aは、属性として1種の物性値を持ち、境界セル13bは、対象物の内側と外側の2種の物性値をもつ。すなわち各セルは、内部セル13a、境界セル13bに区分されるが、さらにそれぞれに関して空間セル(流体用、Euler)と移動変形セル(固体用、Lagrange)の2種類がある。V-CADでは境界セル13bだけ属性値を2重に持つ。

【0029】初期状態としては全ての空間(世界)内に固定された空間流体セル(Eulerメッシュ)だが、固体に対してはC-Simulationの各シミュレーション内で自由に移動変形する移動変形セル(Lagrangeメッシュ)となる。ひとつのシミュレーションの結果をV-CAD内に呼び戻して、静止世界に取り込む。その際に境界情報は分解能などを再設定できるようにする。変形後の対象セルを再分割/間引きするために、座標系に依存しない対象セルのために直交パラメータ空間から変形した六面体への双方向マッピングを用意し、階層の上下移動はパラメータ空間(直交8分木空間)でおこない、再マップする。また読み込み時に空間セルへの対応付け(空間におけるindexing)をする必要がある。従ってEulerのなかにLagrangeがある2重構造となる。

【0030】また、各セルの物性値には大きく分けて最初に与えて値の変わらない定数値と、シミュレーションの結果で値の変わる変数値の2種類がある。

【0031】定数値の例としては、材料特性(弾性係数(ヤング率、降伏値)、N値(塑性変形の際の伸びの次数)、引っ張り強度、ポアソン比(剪断硬さ)、温度、加工速度)、摩擦特性(潤滑材の特性として、粘度、せん断摩擦係数、クーロン摩擦)、加工(境界)条件(工具の移動ベクトル、冷却速さ)が挙げられる。

【0032】変数値の例としては、セルごとに応力(対称テンソル量(6変数))とひずみ(対称テンソル(6変数))など、および流速や圧力、温度などがある。シミュレーションの過程で隣接する内部セル間で予め指定していた許容値を超えた変数値の差が生じたときには、



その差が許容値以内に納まるまで上述した八分木に従った再分割を自動で行なう。

【0033】(分解能の自動決定方法) 分解能の自動決定については、既に述べた形状からの制約や物性値の隣接セル間の格差による方法のほかに、メモリや計算時間から決まる制約、および予め指定した絶対精度(たとえばセルの幅が1 $\mu$ mになったら分割を止める)による制約があり、これら全ての制約の一つでも満たされたら空間の八分割をやめる。これにより必要最小限の分解能(詳細度)をもつ表現となり、実装をより現実的なもの

【0034】(V-CADデータの活用方法) 図6は、本発明によるV-CAD及びV-CADデータと、V-interface, S-CAD, A-CAM, D-fabrication, C-simulationとの関係を模式的に示したものである。

【0035】本発明による形状と物性を統合した実体データの記憶方法は、S-CAD等の設計における形状定\*

|           | シミュレーションとの相性 | 加工との相性                       | データの安定性               | 操作性         | 精度               | 流通性        |
|-----------|--------------|------------------------------|-----------------------|-------------|------------------|------------|
| S-CADシステム | ×            | △<br>(データの扱い<br>×<br>既得情報のみ) | ×                     | △<br>(要熟練)  | △<br>(要時間)       | ○          |
| V-CADシステム | ○<br>(ビルトイン) | ○<br>(プロセスの<br>検討と選択)        | ○<br>(多量性により<br>参照可能) | △<br>(開発環境) | ○<br>(多量分<br>解能) | 差別化<br>先鋭化 |

【0038】

【発明の効果】本発明の形状と物性を統合した実体データの記憶方法、すなわちV-CADとV-CADデータによって、設計のための道具としてCADとシミュレーションの一体化が達成できる。また加工のための道具であるCAMとの一体化も可能である。さらに、より一般的に現実世界の対象を計算機内に表現するモデリング手法としての有用性、新規性は従来別々になっていた形と物性を統合化し、「もの」を「もの(実体データ)」として表現でき、人工物と自然物との統合へと繋がる発展性を有する。

【0039】上述したように、設計のためのツールとしてソリッドCADが主流になりつつあるが、ボリュームCADは次の世代の設計基盤となるものである。ボリュームCADにより、CADとシミュレーションが完全に一元化され、設計・解析・加工・組立・試験等の各工程を同じデータで管理することが可能となる。また、設計・解析に、人工物だけでなく、人体のような自然物も取り込み、自然物をそのまま扱うことができる。

【0040】従って、本発明の形状と物性を統合した実体データの記憶方法は、形状と物性を統合した実体データを小さい記憶容量で記憶することができ、これによ

\*義、変更、表示、保持、検討、評価に加え、C-simulation等における固体の構造解析、大変形解析(剛塑性および弾塑性解析)、熱・流体解析、流動解析などの解析/シミュレーションの入力、出力および途中におけるデータ表現として用いられる。また、更に、A-CAM, D-fabricationにおける除去加工、付加加工、変形加工のためのデータの生成、解析、可視化、比較評価、さらに表面や内部の測定、計測のためのデータ作成、結果の保持、表示、各種解析や加工データとの比較評価に用いることができる。表示方法としては、サーフェスレンダリングとボリュームレンダリングの2種類がある。

【0036】表1は、S-CADと本発明によるV-CADを比較した表である。この表から本発明のV-CADが多くくの点でS-CADより優れているのがわかる。

【0037】

【表1】

り、物体の形状・構造・物性情報・履歴を一元的に管理し、設計から加工、組立、試験、評価など一連の工程に関わるデータを同じデータで管理することができ、CADとシミュレーションを一元化することできる等の優れた効果を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実体データ記憶方法のフロー図である。

【図2】本発明の方法におけるデータ構造の説明図である。

【図3】補間曲面を示す図である。

【図4】本発明による分割方法を二次元で示す模式図である。

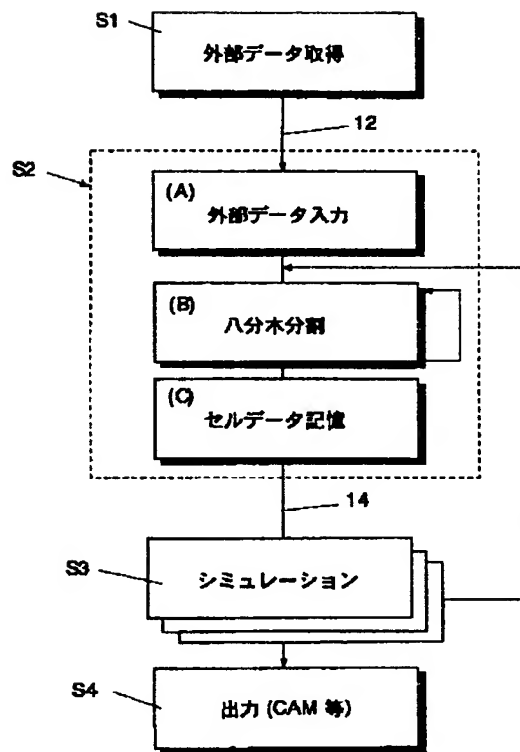
【図5】本発明の各セルの属性を示す模式図である。

【図6】本発明によるV-CAD及びV-CADデータとその他のシミュレーション手段との関係を模式的に示したものである。

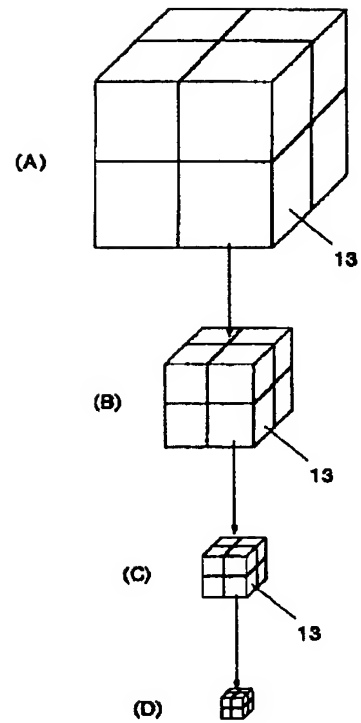
【符号の説明】

12 外部データ、13 セル、13a 内部セル、13b 境界セル、14 V-CADデータ、15 切断点、16 角点

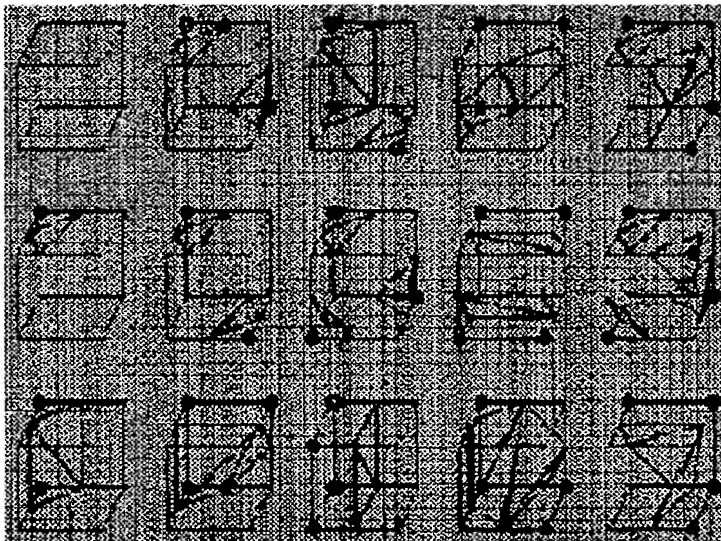
【図1】



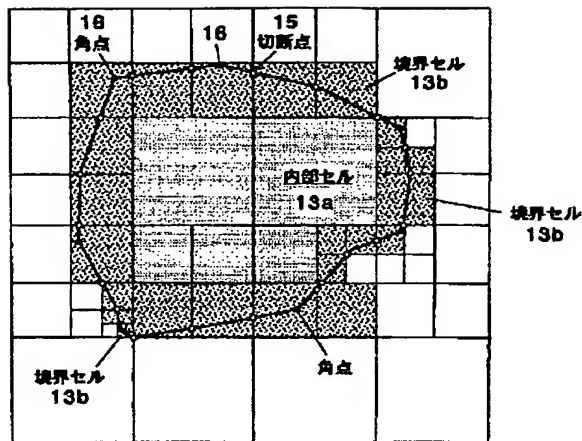
【図2】



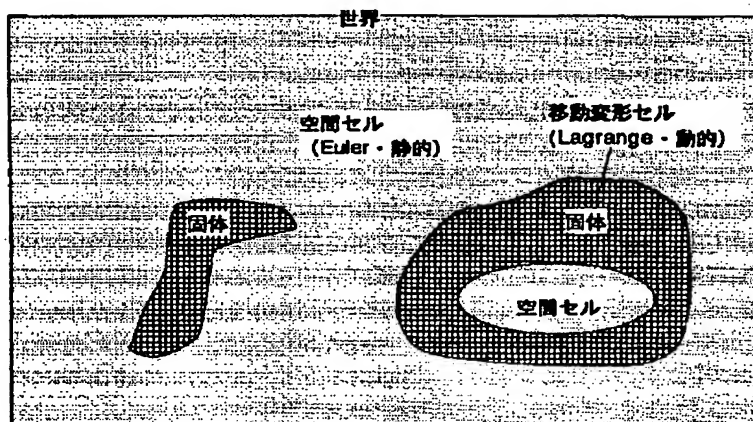
【図3】



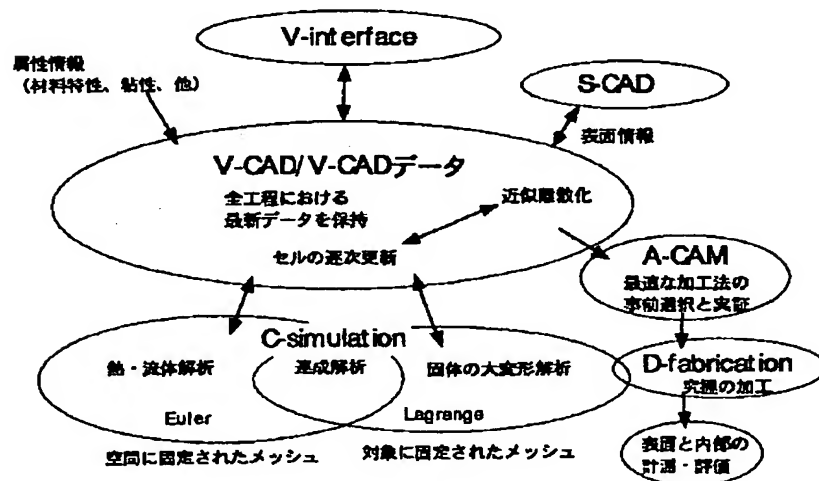
【図4】



【図5】



【図6】



## 【手続補正書】

【提出日】平成13年2月26日(2001. 2. 26)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】図面

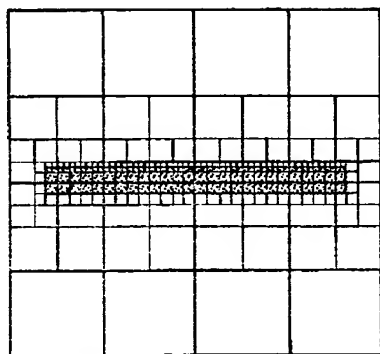
【補正対象項目名】図7

【補正方法】追加

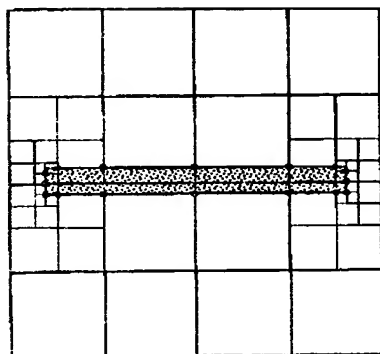
【補正内容】

【図7】

(A)



(B)



## 【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】形状と物性を統合した実体データの記憶方法

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 対象物(1)の境界データからなる外部データ(12)を入力する外部データ入力ステップ(A)と、前記外部データを八分木分割により境界平面が直交する立方体のセル(13)に分割する八分木分割ステップ(B)と、各セル毎に種々の物性値を記憶するセルデータ記憶ステップ(C)とを備える、ことを特徴とする形状と物性を統合した実体データの記憶方法。

【請求項2】 前記八分木分割ステップ(B)において、分割された各セルを対象物の内側に位置する内部セ

ル(13a)と境界面を含む境界セル(13b)とに区分する、ことを特徴とする請求項1に記載の形状と物性を統合した実体データの記憶方法。

【請求項3】 前記境界セル(13b)は、外部データに含まれる境界面を構成する境界形状要素が再構成できる十分な切断点が得られるまで、八分木分割により再分割する、ことを特徴とする請求項2に記載の形状と物性を統合した実体データの記憶方法。

【請求項4】 前記内部セル(13a)は、属性として1種の物性値を持ち、境界セル(13b)は、対象物の内側と外側の2種の物性値をもつ、ことを特徴とする請求項2に記載の形状と物性を統合した実体データの記憶方法。

【請求項5】 前記物性値は、シミュレーションにより変化しない定数値と、シミュレーションの結果で変化する変数値とからなる、ことを特徴とする請求項1に記載の形状と物性を統合した実体データの記憶方法。

【請求項6】 前記外部データ(12)は、多面体を表すポリゴンデータ、有限要素法用の四面体又は六面体要素、3次元CAD又はCGツール用の曲面データ、或いはその他の立体の表面を部分的な平面や曲面で構成された情報で表現するデータである、ことを特徴とする請求項1に記載の形状と物性を統合した実体データの記憶方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、形状と物性を統合した実体データを小さい記憶容量で記憶し、CADとシミュレーションを一元化することできる実体データの記憶方法に関する。

【0002】

【従来の技術】先端的な研究開発・技術開発の現場では、その高度化・複雑化に伴い、膨大な試行錯誤が不可欠となっており、開発途中でのリスクが高まっている。科学技術立国を目指す我が国として、これらのリスクを極力排し、開発過程の革新的な高度化・効率化を図ることが極めて重要である。

【0003】現在、研究開発・技術開発の現場において、CAD(Computer Aided Design)、CAM(Computer Aided Manufacturing)、CAE(Computer Aided Engineering)、CAT(Computer Aided Testing)などが、それぞれ設計、加工、解析、試験のシミュレーション手段として用いられている。また、本発明によって、連続的なシミュレーションであるC-Simulation(Cooperative Simulation)、加工プロセスも考慮したA-CAM(Advanced CAM)、究極の精度が出せるD-fabri

cation (Deterministic fabrication) なども、これから広く普及するはずである。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 上述した従来のシミュレーション手段では、対象物を、CSG (Constructive Solid Geometry) やB-rep (Boundary Representation) でデータを記憶している。

【0005】しかし、CSGでは、対象物全体を微細なソリッドモデルの集合体として記憶するため、データが重くシミュレーション手段 (ソフトウェア等) を実装する場合、膨大なデータを扱うこととなり、大型コンピュータを用いた場合でも解析に時間がかかる問題点があった。

【0006】また、B-repでは、対象物を境界で表現するため、データは軽く、データ量は小さくなるが、境界面の内部は一樣に扱うため、変形解析等には適さない問題点があった。

【0007】更に、これらの従来のデータ記憶手段では、熱・流体解析、固体の大変形解析、これらの連成解析等でその都度、解析に適したメッシュ等に分割して、有限要素法等を適用するため、その解析結果を表示等ではあるが、CADとシミュレーションを一元化することが困難であり、設計・解析・加工・組立・試験等の各工程を同じデータで管理することができない問題点があった。

【0008】言い換えれば、現状のSolid/Surface-CAD (以下S-CADと呼ぶ) には、以下の問題点があった。

(1) データが渡らない、内部での変換操作に弱い (数値誤差と処理手法の問題)。

(2) シミュレーションに直接使えない (内部情報をもっていないのでメッシュを生成しなくてはならない)。

(3) CAMによる加工の検討ができない (最終形状しかもっていない)。

【0009】また加工においても以下の問題点があった。

(1) 加工プロセスの表現ができない (荒加工や工程設計の支援が不十分)。

(2) レーザ加工や超先端加工など新しい加工法に対応できていない (切削しにくい、数値精度が足りない)。

(3) 加工法自体の選択ができない (複合体で内部に異なる材料特性を有する)。

【0010】本発明は、かかる問題点を解決するために創案されたものである。すなわち、本発明の目的は、形状と物性を統合した実体データを小さい記憶容量で記憶することができ、これにより、物体の形状・構造・物性情報・履歴を一元的に管理し、設計から加工、組立、試験、評価など一連の工程に関わるデータを同じデータで

管理することができ、CADとシミュレーションを一元化することのできる実体データの記憶方法を提供することにある。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】 本発明によれば、対象物 (1) の境界データからなる外部データ (12) を入力する外部データ入力ステップ (A) と、前記外部データを八分木分割により境界平面が直交する立方体のセル (13) に分割する八分木分割ステップ (B) と、各セル毎に種々の物性値を記憶するセルデータ記憶ステップ (C) とを備える、ことを特徴とする形状と物性を統合した実体データの記憶方法が提供される。

【0012】本発明の好ましい実施形態によれば、前記八分木分割ステップ (B) において、分割された各セルを対象物の内側に位置する内部セル (13a) と境界面を含む境界セル (13b) とに区分する。

【0013】また、前記境界セル (13b) は、外部データに含まれる境界面を構成する境界形状要素が再構成できる十分な切断点が得られるまで、八分木分割により再分割する。

【0014】更に、前記内部セル (13a) は、属性として1種の物性値を持ち、境界セル (13b) は、対象物の内側と外側の2種の物性値をもつ。

【0015】また、前記物性値は、シミュレーションにより変化しない定数値と、シミュレーションの結果で変化する変数値とからなる。

【0016】また、前記外部データ (12) は、多面体を表すポリゴンデータ、有限要素法用の四面体又は六面体要素、3次元CAD又はCGツール用の曲面データ、或いはその他の立体の表面を部分的な平面や曲面で構成された情報で表現するデータである。

【0017】上述した本発明の方法によれば、対象物 (1) の外部データ (12) を八分木分割により境界平面が直交する立方体のセル (13) に分割したセルの階層として小さい記憶容量で外部データ (12) を記憶することができる。また、各セルがその属性として種々の物性値を記憶しているので、物体の形状・構造・物性情報・履歴を一元的に管理し、設計から加工、組立、試験、評価など一連の工程に関わるデータを同じデータで管理することができ、CADとシミュレーションを一元化することできる。すなわち本発明では、もの (対象物) を形だけでなく物理的な属性も含めて記憶し表現できるので、その階層データをプラットフォームとして、高度シミュレーション技術、人とのインターフェース技術などを構築することができる。

#### 【0018】

【発明の実施の形態】 以下、本発明の好ましい実施形態を図面を参照して説明する。図1は、本発明の実体データ記憶方法のフロー図である。この図に示すように、本発明の方法は、外部データ入力ステップ (A)、八分木

分割ステップ(B)、及びセルデータ記憶ステップ(C)からなる。外部データ入力ステップ(A)では、外部データ取得ステップS1で取得した対象物1の境界データからなる外部データ12を本発明の方法を記憶したコンピュータ等に入力する。八分木分割ステップ(B)では、外部データ12を八分木分割により境界平面が直交する立方体のセル13に分割する。セルデータ記憶ステップ(C)では、各セル毎に種々の物性値を記憶する。なお、以下本発明の方法によるデータを「V-CADデータ」と呼び、このデータを用いた設計やシミュレーションを「ボリュームCAD」又は「V-CAD」と呼ぶ。

【0019】図1に示すように、本発明の方法を構成するステップS2では、必要に応じて八分木分割ステップ(B)を繰り返し行う。また、V-CADデータ14を用いて、例えば、設計・解析・加工・組立・試験等のシミュレーションをステップS3で順次行い、これを出力ステップS4(例えばCAMやポリゴンデータとして)に出力するのがよい。

【0020】外部から入力する外部データ12は、多面体を表すポリゴンデータ、有限要素法に用いる四面体又は六面体要素、3次元CAD又はCGツールに用いる曲面データ、或いはその他の立体の表面を部分的な平面や曲面で構成された情報で表現するデータである。外部データ12は、このようなデータ(S-CADデータと呼ぶ)のほかに、(1)V-CAD独自のインターフェース(V-interface)により人間の入力により直接作成されたデータと、(2)測定機やセンサ、デジタイザなどの表面のデジタイズデータや、(3)CTスキャンやMRI、および一般的にVolumeレンダリングに用いられているボクセルデータなどの内部情報ももつVolumeデータであってもよい。

【0021】図2は、本発明の方法におけるデータ構造の説明図である。上述した八分木分割ステップ(B)では、修正された八分木(オクトリー、Octree)による空間分割を行う。オクトリー表現、すなわち八分木による空間分割とは、目的の立体(対象物)を含む、基準となる立方体13を8分割し(A)、それぞれの領域の中に立体が完全に含まれるか、含まれなくなるまで再帰的に8分割処理を(B)(C)(D)のように繰り返す。この八分木分割によりボクセル表現よりも大幅にデータ量を減らすことができる。

【0022】八分木による空間分割により分割された一つの空間領域をセル13とよぶ。セルは境界平面が直交する立方体である。セルによる階層構造、分割数もしくは分解能によって空間中に占める領域を表現する。これにより空間全体の中で対象は大きさの異なるセルを積み重ねたものとして表現される。すなわち、八分木分割ステップ(B)では、外部データ12から境界と内部の物性を以下の実体データ14(V-CADデータ)に変換

する。境界データは、厳密に(たとえば、平面であれば含まれる3点で厳密に再構成できる)、もしくは指定した許容差(位置、接線、法線、曲率およびそれらの隣接部分との接続性に対して指定された閾値)内に近似する。

【0023】図3は、補間曲面の例である。補間曲面の特別な場合がMarching Cubeである。本発明では、必ず稜線上の切断点で表現できるまで、法線や主曲率および連続性を満たすまで再分割する。また、2次曲面までを厳密表現、自由曲面は平面もしくは2次曲面によるセル内曲面で近似、これにより幾何固有量のみを保存する。

【0024】図4は、本発明による分割方法を二次元で示す模式図である。本発明では、上述した八分木分割ステップ(B)において、分割された各セル13を対象物の内側に位置する内部セル13aと、境界面を含む境界セル13bとに区分する。すなわち本発明では境界セル13bを表現するために修正された八分木を使い、完全に内部に含まれるものはその最大の大きさをもつ内部セル13a(立方体)により構成され、外部データ12からの境界情報を含むセルは境界セル13bとして構成している。各境界セル13bは3次元では12本、2次元では4本の稜線上の切断点15(図中に白丸で示す)により厳密に、もしくは近似的に置き換えられる。

【0025】外部データ12に含まれる境界を構成する境界形状要素(平面、2次曲面などの解析曲面にたいしては厳密に、その他の自由曲面や離散点群で表現される境界形状要素については近似的に)が再構成できる十分な切断点15が得られるまで、境界セル13bは八分木分割される。例えば一つの線分ならばその上にある2点がセルの稜線上の切断点15となるまで、平面であれば3点が切断点となるまで、2次曲線であれば3点が、2次曲面であれば4点、以下多項式曲面、有理式曲面のそれぞれに対し、外部データの表現式が既知の場合は必要十分な点とセルの稜線がその定義されている範囲の間で見つかるまで空間を階層的に八分割してゆく。すなわち、再分割する箇所は、境界(表面)部分で指定分解能を満たすまで、或いは各セルが持つ解析結果の値(応力、ひずみ、圧力、流速など)の変化率が指定閾値を超えなくなるまで行う。

【0026】また、複数の境界形状要素を含む境界セル13bの角点16(図中に黒丸で示す)についてはその内部の境界を、隣接する境界セル(再構成に十分な切断点を有し、完全に境界要素が横断するまで分割されている)が保有する切断点15で表現される境界の交線として間接的に表現できるので必要以上に分割しない。

【0027】従って、V-CADデータ14は、セル内部に蓄えられる形状に関する情報として、セルの位置を表す指標、階層における詳細度をあらわす分割数または分解能、隣接セルを表すポイント、切断点の数と座標値など、および用途に応じて、法線や曲率等となる。ま

た、V-CADとしては最下層ではEuler的に節点情報や結果の値を保持する。再分割の際の最小分解能がなるべく大きくなるように、境界の位置、法線、接線の連続性および曲率のそれぞれ連続性に関する閾値（許容差）の決め方を定義する。

【0028】図5は、本発明の各セルの属性を示す模式図である。上述した内部セル13aは、属性として1種の物性値を持ち、境界セル13bは、対象物の内側と外側の2種の物性値をもつ。すなわち各セルは、内部セル13a、境界セル13bに区分されるが、さらにそれぞれに関して空間セル（流体用、Euler）と移動変形セル（固体用、Lagrange）の2種類がある。V-CADでは境界セル13bだけ属性値を2重に持つ。

【0029】初期状態としては全ての空間（世界）内に固定された空間流体セル（Eulerメッシュ）だが、固体に対してはC-Simulationの各シミュレーション内で自由に移動変形する移動変形セル（Lagrangeメッシュ）となる。ひとつのシミュレーションの結果をV-CAD内に呼び戻して、静止世界に取り込む。その際に境界情報は分解能などを再設定できるようにする。変形後の対象セルを再分割／間引きするために、座標系に依存しない対象セルのために直交パラメータ空間から変形した六面体への双方向マッピングを用意し、階層の上下移動はパラメータ空間（直交8分木空間）でおこない、再マップする。また読み込み時に空間セルへの対応付け（空間におけるindexing）をする必要がある。従ってEulerのなかにLagrangeがある2重構造となる。

【0030】また、各セルの物性値には大きく分けて最初に与えて値の変わらない定数値と、シミュレーションの結果で値の変わる変数値の2種類がある。

【0031】定数値の例としては、材料特性（弾性係数（ヤング率、降伏値）、N値（塑性変形の際の伸びの次数）、引っ張り強度、ポアソン比（剪断硬さ）、温度、加工速度）、摩擦特性（潤滑材の特性として、粘度、せん断摩擦係数、クーロン摩擦）、加工（境界）条件（工具の移動ベクトル、冷却速さ）が挙げられる。

【0032】変数値の例としては、セルごとに応力（対称テンソル量（6変数））とひずみ（対称テンソル（6\*

\*変数）など、および流速や圧力、温度などがある。シミュレーションの過程で隣接する内部セル間で予め指定していた許容値を超えた変数値の差が生じたときには、その差が許容値以内に納まるまで上述した八分木に従った再分割を自動で行なう。

【0033】（分解能の自動決定方法）分解能の自動決定については、既に述べた形状からの制約や物性値の隣接セル間の格差による方法のほかに、メモリや計算時間から決まる制約、および予め指定した絶対精度（たとえばセルの幅が1 $\mu$ mになったら分割を止める）による制約があり、これら全ての制約の一つでも満たされたら空間の八分割をやめる。これにより必要最小限の分解能（詳細度）をもつ表現となり、実装をより現実的なものとすることができる。

【0034】（V-CADデータの活用方法）図6は、本発明によるV-CAD及びV-CADデータと、V-interface、S-CAD、A-CAM、D-fabrication、C-simulationとの関係を模式的に示したものである。

【0035】本発明による形状と物性を統合した実体データの記憶方法は、S-CAD等の設計における形状定義、変更、表示、保持、検討、評価に加え、C-simulation等における固体の構造解析、大変形解析（剛塑性および弾塑性解析）、熱・流体解析、流動解析などの解析／シミュレーションの入力、出力および途中におけるデータ表現として用いられる。また、更に、A-CAM、D-fabricationにおける除去加工、付加加工、変形加工のためのデータの生成、解析、可視化、比較評価、さらに表面や内部の測定、計測のためのデータ作成、結果の保持、表示、各種解析や加工データとの比較評価に用いることができる。表示方法としては、サーフェスレンダリングとボリュームレンダリングの2種類がある。

【0036】表1は、S-CADと本発明によるV-CADを比較した表である。この表から本発明のV-CADが多くの特長でS-CADより優れているのがわかる。

【0037】

【表1】

|           | シミュレーションとの相性         | 加工との相性                   | データの安定性               | 操作性            | 精度             | 流通性        |
|-----------|----------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|----------------|------------|
| S-CADシステム | ×                    | △                        | ×                     | △              | △              | ○          |
|           | (メッシュ生成時<br>境界の追付遅し) | (データの管理<br>と境界移動の<br>遅さ) | (変換に<br>時間がかかる)       | (再計算)<br>(再設計) | (再計算)<br>(再設計) |            |
| V-CADシステム | ○                    | ○                        | ○                     | △              | ○              | 差別化<br>先進化 |
|           | (ビルトイン)              | (プロセスの<br>検討と選択)         | (多変数に<br>よって修正可<br>能) | (開発<br>容易)     | (多重分<br>割可能)   |            |

【0038】図7は、本発明による分割方法（修正され

た八分木）を従来の八分木と比較して示す図4と同様の



二次元模式図である。この図において、(A)は通常の八分木 (Octree)、(B)は本発明による修正八分木の例である。この例では、Octreeのような空間分割法にとって苦手な薄い板 (散点部分) を分割した場合を示している。この図5から、本発明の修正八分木 (B) では、切断点による表面の再構築を用いているため、通常の八分木 (A) に比較して少ない分割ですんでしまうことがわかる。

#### 【0039】

【発明の効果】本発明の形状と物性を統合した実体データの記憶方法、すなわちV-CADとV-CADデータによって、設計のための道具としてCADとシミュレーションの一体化が達成できる。また加工のための道具であるCAMとの一体化も可能である。さらに、より一般的に現実世界の対象を計算機内に表現するモデリング手法としての有用性、新規性は従来別々になっていた形と物性を統合化し、「もの」を「もの (実体データ)」として表現でき、人工物と自然物との統合へと繋がる発展性を有する。

【0040】上述したように、設計のためのツールとしてソリッドCADが主流になりつつあるが、ポリウムCADは次の世代の設計基盤となるものである。ポリウムCADにより、CADとシミュレーションが完全に一元化され、設計・解析・加工・組立・試験等の各工程を同じデータで管理することが可能となる。また、設計・解析に、人工物だけでなく、人体のような自然物も取り込み、自然物をそのまま扱うことができる。

【0041】従って、本発明の形状と物性を統合した実体データの記憶方法は、形状と物性を統合した実体データを小さい記憶容量で記憶することができ、これにより、物体の形状・構造・物性情報・履歴を一元的に管理し、設計から加工、組立、試験、評価など一連の工程に関わるデータを同じデータで管理することができ、CADとシミュレーションを一元化することできる等の優れた効果を有する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実体データ記憶方法のフロー図である。

【図2】本発明の方法におけるデータ構造の説明図である。

【図3】補間曲面を示す図である。

【図4】本発明による分割方法を二次元で示す模式図である。

【図5】本発明の各セルの属性を示す模式図である。

【図6】本発明によるV-CAD及びV-CADデータとその他のシミュレーション手段との関係を模式的に示したものである。

【図7】従来の八分木 (A) と本発明による分割方法 (B) (修正された八分木) を比較した模式図である。

#### 【符号の説明】

12 外部データ、13 セル、13a 内部セル、13b 境界セル、14 V-CADデータ、15 切断点、16 角点

フロントページの続き

(72)発明者 姫野 龍太郎  
埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所  
内

(72)発明者 牧野内 昭武  
埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所  
内  
Fターム(参考) 5B046 FA06 JA07 KA07